統計的画像解析を用いた顔の光沢感に関わるテクスチャの抽出

Extraction of Textural Feature Relevant to Facial Shine Using Statistical Image Analysis

五十嵐崇訓^{†,††}, 直木隆明[†], 守口順二[†], 瀬尾昌孝[†], 陳 延偉[†]
Takanori Igarashi^{†,††}, Takahiro Naoki[†], Junji Moriguchi[†], Masataka Seo[†] and Yen-Wei Chen^{††}

あらまし 顔のテクスチャが光沢感の特徴に与える影響を評価するため、顔テクスチャの特徴抽出を行うための統計的画像解析法を開発した。開発法を光沢感の特徴が異なる顔画像に適用し、光沢感特徴の違いを生み出す複数のテクスチャの特徴要素を確認した。

キーワード：光沢感，顔画像，テクスチャ，Eigenface法，形状正規化

1. ま え が き

代表的なベースメイクアップ化粧料であるファンデーション¹⁾の重要な機能として、好ましい「化粧仕上がり」(化粧した顔の印象)を実現することが挙げられる²⁾。この実現に向けて、近年になり、顔やその肌の質感を制御することの重要性が注目されるようになってきている²⁾³⁾。この中でも特に、顔の「光沢感」は最も重要な研究対象として検討がなされている。例えば、顔への光沢の付与の仕方を変化させることで、化粧した顔(化粧顔)の印象が「ふんわり」、「シャープ」(立体的)、「のっぺり」など異なるものに制御できることが報告されている⁴⁾。また、化粧は時間が経つと肌から分泌される皮脂により化粧仕上りの状態が変化し、「てかり」⁵⁾⁶⁾と呼ばれるネガティブな印象を与える光沢を呈する²⁾。この対策として、てかりを抑制するための技術開発が盛んに行われており、その成果が製品設計に生かされている²⁾³⁾。この他、光沢と肌の加齢印象との関連性も報告されており、ファンデーションの製品設計を行う際の重要なヒントを与えている⁷⁾。

以上の例にみられるように、化粧品研究では、顔を対象にしてさまざまな特徴を有する光沢感に関する研究が行われている。化粧によりこのような光沢感特徴の制御を実現するためには、その特徴差を生み出している顔テクスチャの特徴要素を把握する必要がある。以上の背景から、本研究では、まず顔画像の特徴解析に優れる「統計的画像解析法」の中でも主成分分析(Principal Component Analysis: PCA)をベースにした顔テクスチャの抽出・可視化法の開発を試みた。具体的には、PCAにより算出される固有空間

にて累積寄与率の異なる再構成顔画像を生成させ、これらの再構成顔画像間の差分情報を利用して顔画像のテクスチャ特徴を抽出・可視化する解析手法の開発を行った。次に、開発法を特徴の異なる光沢感を呈する顔画像に適用し、これらの顔テクスチャの比較を行うことで、光沢感の特徴に影響を与えるテクスチャの特徴要素を評価、考察した。

2. 顔画像からのテクスチャ抽出方法

顔テクスチャ抽出法として、PCAをベースとした統計的画像解析であるEigenface法⁸⁾の応用を検討した。

2.1 学習用顔画像データベース

ファンデーションは、毛穴等の肌の欠点の隠ぺいや光沢の付与などによる顔テクスチャの制御を行うことで、目的とする質感を実現する。したがって、ファンデーションを対象とした質感評価では、顔形状の影響を受けずに、テクスチャのみに評価対象を絞った検討が求められる。以上の理由から、本研究では、統計的画像解析を行う際に必要となる学習用顔画像データベース(DB)として、DB中のすべての顔の位置・形状(輪郭や目・鼻などの配置)がワーピングにより統一され、テクスチャのみが異なる「形状正規化顔画像DB」⁹⁾(図1)を用いた。なお、本研究では顔の正面から照明された顔画像を用いて検討を行った。また、計算負荷を考慮して、解析に用いた画像サイズを横：253ピクセル、縦：347ピクセルとした。この際、この画像サイズにおいて、本研究が議論の対象とする光沢感の特徴が認知できることを確認した。また、肌の比較的微細(局所的)な毛穴等のテクスチャが画像中に明瞭に写っていることを確認した。

2.2 形状正規化DBを用いたEigenface法の特徴

前述の形状正規化顔画像DBを学習データに用いて、Eigenface法⁸⁾により固有空間を算出した。顔画像 $\mathbf{x}$ は、固有空間を形成する基底関数 $\mathbf{v}_i$ と、その係数 y_i により

2014年7月25日受付，2014年10月4日再受付，2014年11月4日採録

[†] 立命館大学 大学院 情報理工学研究科

(〒525-8577 草津市野路東1-1-1, TEL 077-561-5926)

^{††} 花王株式会社 スキンケア研究所

(〒131-8501 墨田区文花2-1-3, TEL 03-5630-9829)

図1 形状正規化前後の顔画像例

$$\mathbf{x} = \mathbf{m} + y_1 \mathbf{v}_1 + \dots + y_n \mathbf{v}_n \quad (1)$$

と記述される。ここで、 $\mathbf{m}$ は全顔画像の平均ベクトル(平均顔)、 n は基底関数の総数である(本研究では $n=307$)。

式(1)に基づいて顔画像を再構成すると、再構成率(Accumulated Cover Ratio: ACR)が高まるにつれて、顔テクスチャが復元される。特に本研究の場合、データベース中の顔をすべて形状正規化したことに由来して、ACRの高い「高次」の再構成顔画像に至るまで、ノイズの影響をほとんどうけることなく顔テクスチャが再構成されていることが確認できる(図2)。また、PCAの特性に由来して、ACRが高まるほど光沢や毛穴などの局所性を有するテクスチャが、オリジナルに近い状態に再構成される⁹⁾。

2.3 固有空間の特性を利用したテクスチャ抽出

再構成率の異なる顔画像間のテクスチャの差異に着目し、光沢感の特徴の差異を抽出する手法を開発した。光沢感の特徴が異なる図2(a)～(c)の再構成顔画像の比較からもわかるように、顔の光沢感特徴の差異は、ACRの低い「低次」の再構成顔画像(図2ではACR=50%)ではほとんど現れていない。しかし、ACRが高まり「高次」の再構成顔画像になるほど、その特徴の差異が現れてくる。したがって、低次と高次の再構成顔画像間のテクスチャの差異を抽出することで、光沢感の特徴の違いを評価できる可能性がある。ここで、先行研究⁹⁾からACR70%より低次の部分固有空間においては、顔色などの大域的な特徴が表現され、ACR70%以上の高次の部分固有空間においては、毛穴などの局所性を有するテクスチャが主に表現できることが報告されている。本研究では、解析の際に顔色の影響を受けないようにする必要がある。さらに、局所性を有するテクスチャは光沢感の特徴の差異に影響を与える可能性があることが想定される^{5) 6)}。以上の理由から、本研究ではACR70%～100%の再構成顔画像間の差異に着目した解析を行うことにした。

一般的に、再構成が進むにつれて再構成顔画像の全体的(大域的)な輝度も徐々に変化が生じる(図2)。したがって、ACR70%とACR100%の再構成顔画像を直接差し引くこと

図2 光沢感の特徴が異なる顔画像(a)～(c)について、ACRを変化させて再構成した顔画像

図3 テクスチャ抽出の計算スキーム

で、目的とするテクスチャを抽出しようとしても、再構成画像間の全体的な輝度のずれ(輝度のベースラインの違い)により、本来取得したいテクスチャが正しく抽出されることが懸念される。そこで、以下のフローによりこの課題を抑制しながらテクスチャの抽出を試みた(図3)。

- (1) 微小にACRを変化させた再構成顔画像を生成(本研究では、ACRの変化の刻み幅を3%とした)。
- (2) 隣接する再構成顔画像の差分画像を算出(ACRの変化量が小さいため、再構成画像間の全体的な輝度差の影響は低減される)。
- (3) 算出した差分画像群を累積することで、ACR68%と98%の再構成顔画像間の特徴差(差分累積画像)を算出し、これをACR70%と100%の顔画像間の差異に該当するものとする。

上記フロー(2)における差分画像の算出に際しては、各ピクセルにおいて差分値は正または負の値をとる。正の値を持つピクセル群は、再構成に伴って「明るい」特徴を有するテクスチャを形成するので、例えば光沢などに由来するものと予想される。一方、負の値を持つピクセルは、再構成に伴って「暗い」特徴を有するテクスチャを形成するので、例えば毛穴などの肌の欠点に由来するものと予想される。これらはともに光沢感の特徴に影響を与える要素である可能性があるため、本研究では正と負を分離して算出を行った。

3. 結果と考察

特徴の異なる光沢感を有するテスト顔画像に対して、開発法を用いてこれらの画像のテクスチャ特徴を抽出し、その差異を比較した。テスト画像としては、化粧崩れに由来する「てかり」(ネガティブな印象を与える光沢感)の度合が異なる顔画像、メイクアップアーティストによって施された光沢感の特徴が異なる化粧顔画像(いずれも「好ましい」印象を与える光沢感)を用いた(図4(a)～(d))。

開発法により抽出したテクスチャの特徴要素は、顔の光沢感特徴の違いに準じて概ね異なるものとなった。まず、てかりを感じる顔画像(図4(b))について、それ以外の画像(てかり前:図4(a)、メイクアップアーティストの施した「ふんわり」および「シャープ」な光沢感を有する化粧:図4(c)、(d))と比較すると、次の特徴差が見られた。

- ・正の差分累積画像の比較から、てかりを感じる画像(図4(b))の方が、眉間部や鼻周りから頬部にかけて見られる光沢に由来する反射が生じている部分(「光沢面」と呼ぶ)と、その周囲の光沢のない部分(「拡散面」と呼ぶ)におけるコントラスト(強度比)が高い傾向にある。
- ・負の累積差分画像の比較から、毛穴などの肌の微細な凹凸(肌表面の3D形状)に由来する局所的テクスチャが光沢面を中心に目立つ傾向にあり、これが光沢面内に空間的な不均一性を与える要因となっている(この光沢面の不均一性をてかりの要因とする既報の知見⁵⁾⁶⁾とも一致する)。

次に、メイクアップアーティストによる「好ましい」光沢感を施した特徴の異なる化粧(図4(c)、(d))について、以下の特徴がみられた。

- ・正の差分累積画像の比較から、特徴の違いにより光沢面と周囲の拡散面のコントラストが異なる。
- ・正の差分累積画像の比較から、いずれもてかりの場合より光沢面の面積が大きい傾向にある。
- ・負の差分累積画像の比較から、いずれの場合もてかりの場合に比べて、毛穴などの肌表面の形状に由来すると考えられる空間的な局所不均一性を抑制した状態で光沢が付与されている(よって、光沢面が滑らかである)。

以上から、化粧における顔の光沢感の特徴は、

- (1) 光沢面とその周囲の拡散面のコントラスト(強度比)
- (2) 光沢面の面積
- (3) 光沢面中の微細(局所的)な表面凹凸形状(局所不均一性)

が寄与していると考察された。コントラストや面積の差異は、鏡面反射の強度や角度指向性に関連しており、知覚的な光沢(perceived glossiness)を決定する要素であることが知られている¹⁰⁾。また光沢面内の表面凹凸形状も、光沢感に影響を与えることが報告されている^{11)～14)}。これらの先行研究の結果は、顔を対象にしたものではないが、本報

図4 光沢感の特徴が異なる顔画像に対する解析結果

(a) 化粧直後のてかりのない化粧顔、(b) 化粧が崩れててかりの状態の化粧顔、(c) メイクアップアーティストによって施された「ふんわり」した光沢感を有する化粧顔、(d) メイクアップアーティストによって施された「シャープ」な印象を与える光沢感を有する化粧顔。

の結果から、対象が顔の場合では、上記三つの要素が光沢感の強さ(レベル)に影響すると同時に、光沢感の特徴や好ましさに影響を与えていることが示唆された。したがって、これらの要素を光学的特性や表面形状の補正により制御を行うことで、良好な特徴を与える光沢感を顔に付与できることが期待される。

4. むすび

本研究では、化粧品研究で重要となる顔の光沢感について、その特徴の違いを顔テクスチャの比較から検討した。まず、テクスチャの特徴要素を抽出するための新たな統計的画像解析法として、累積寄与率の異なる再構成顔画像間の差分情報を利用し、顔画像のテクスチャ特徴を抽出・可視化する手法の開発を行った。次に、開発法を光沢感の特徴が異なる化粧顔画像に適用し、得られた結果の比較を行った。その結果、顔の光沢感の特徴は、光沢面とその周囲の拡散面とのコントラスト、光沢面の面積、光沢面内の微細な表面凹凸形状の影響を受けている可能性が示された。開発法ではACR68%から98%を解析対象の範囲として設定し検討をすすめ、一連の解析結果を得た。今回の結果は概ね合理的な結果であると考えているが、今後より多くの光沢感の異なる顔画像に対する解析を通して適切なACRの範囲に関する検討を行い、解析法としての合理性、正確性を向上する必要があると考えている。さらに、開発法の汎用的な利用を考慮して、撮影条件の違いなどにより解析に用いるべき適切なACRの範囲が変化するか等の評価も必要であると考えている。また、今回得られた光沢感の特徴に影響を与えるテクスチャの諸要素について、今後は

CG技術などを駆使して、これらを独立に変化させた顔画像を生成し、これらの比較から本研究で得られた結果をさらに検証、考察していきたい。

〔文 献〕

- 1) 日本化粧品技術者会編：“メークアップ化粧品”，化粧品事典，丸善，pp.131-142（2003）
- 2) 五十嵐崇訓：“ファンデーションの光学特性”，色材協会誌，85，4，pp.156-163（Apr. 2012）
- 3) 五十嵐崇訓：“肌の質感をコントロールする化粧品の研究開発”，光学，43，7，pp.318-324（July 2014）
- 4) T. Igarashi, K. Nakao, T. Fukui, A. Kashimoto, K. Fukuda, Y.W. Chen: "Face Designing: Technology to Control Facial Appearance Based on Multi-Angle Image Analysis and Electromagnetic Simulation", Proc. The 25th IFSCC Congress, pp.145-150（Oct. 2008）
- 5) 藤井誠，三崎裕子，佐々木一郎：“多重解像度解析を用いた肌のつやの客観的評価方法の応用”，日本化粧品技術会誌，43，2，pp.72-78（June 2009）
- 6) 大槻理恵，引間理恵，坂巻剛，富永昌治：“分光顔画像を用いた化粧崩れ評価方法”，日本色彩学会誌，37，2，pp.113-123（Feb. 2013）
- 7) C. Arce-Lopera, T. Igarashi, K. Nakao and K. Okajima: "Effects of diffuse and specular reflections on the perceived age of facial skin", Optical Review, 19, 3 pp. 167-173（Mar. 2012）
- 8) M. Turk, A. Pentland: "Eigenfaces for recognition", Journal of Cognitive Neuroscience, 3, 1, pp.71-86（Jan. 1991）
- 9) 五十嵐崇訓，守口順二，瀬尾昌孝，中尾啓輔，陳延偉：“ベースメイクアップの化粧効果を定量化するEigen Dual-Subspace法の開発”，信学誌D，J97-D，3，pp.523-532（Mar. 2014）
- 10) J.A. Ferwerda, F. Pellacini, D.P. Greenberg: "A Psychophysically-Based Model of Surface Gloss Perception", Proc. SPIE Human Vision and Electronic Imaging IV, 4299, pp.291-301（June 2001）
- 11) Y.X. Ho, M.S. Landy, L.T. Maloney: "Conjoint Measurement of Gloss and Surface Texture", Psychol. Sci., 19, 2, pp.196-204（Feb. 2008）
- 12) M.W. Wijntjes, S.C. Pont: "Illusory Gloss on Lambertian Surfaces", Journal of Vision, 10, 9:3, pp.1-12（Sep. 2012）
- 13) S. Nishida, M. Shinya: "Use of Image-Based Information in Judgments of Surface-Reflectance Properties", J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image Sci. Vis., 15, 12, pp.2951-2965（Dec. 1998）
- 14) P.J. Marlow, J. Kim, B.L. Anderson: "The Perception and Misperception of Specular Surface Reflectance", Current Biology, 22, pp.1909-1913（Oct. 2012）

五十嵐崇訓（い が ら し た か ひ ろ） 1998年，早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年，花王（株）入社。2003年～2004年，Department of Computer Science, Columbia University客員研究員。現在，同社スキンケア研究所主任研究員。2012年より，立命館大学大学院情報理工学研究科博士後期課程在学中。現在，画像解析，光学を用いた化粧品の製品設計・評価に従事。

直木 隆明（な お き た か ひ ろ） 2013年，立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業。同年，同大学大学院情報理工学研究科に進学。現在，画像処理，機械学習などを用いた顔のテクスチャや形状に関する研究に従事。

守口 順二（も り ぐ ち じ ゅ ん に） 2010年，立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒業。2012年，同大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年，（株）メガチップス入社。

瀬尾 昌孝（せ お ま さ た か） 2012年，立命館大学大学院博士課程後期課程修了。日本学術振興会特別研究員（PD）を経て，現在，関西学院大学理工学部にて，契約助手として顔を対象とした画像処理，機械学習に関する研究に従事。博士（工学）。

陳 延偉（Yan Wei Chen） 1990年，大阪大学工学研究科博士後期課程修了。（財）レーザ技術研究所研究員，琉球大学工学部講師，助教授，教授を経て，2004年，立命館大学情報理工学部教授となり，現在に至る。現在パターン認識，画像処理，機械学習に関する研究に従事。工学博士。